

УДК 669.14:539.25

Е. Ю. Приймак^{1*}, И. Л. Яковлева², А. В. Данюк³

¹Завод бурового оборудования, г. Оренбург

²Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

³Научно-исследовательский институт прогрессивных технологий НИО-2
Тольяттинского государственного университета, г. Тольятти

**e.priymak@zbo.ru*

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РОТАЦИОННОЙ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ

В работе приведены результаты исследований структурных изменений и пластического течения в экстремальных условиях ротационной сварки трением на примере среднеуглеродистых сталей. С помощью метода EBSD анализа произведена аттестация микроструктуры в различных участках зоны термомеханического влияния.

Ключевые слова: ротационная сварка трением (РСТ), зона термомеханического влияния (ЗТМВ), EBSD анализ.

E. Y. Priymak, I. L. Yakovleva, A. V. Danyuk

EVOLUTION OF THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROTARY FRICTION WELDED JOINTS FROM MEDIUM-CARBON STEELS

The paper presents the results of studies of structural changes and plastic flow under extreme conditions of rotary friction welding using medium-carbon steels as an example. Using the EBSD analysis method, the microstructure was certified in various parts of the thermomechanical affected zone.

Key words: rotary friction welding (RFW), medium carbon steels, thermomechanical affected zone (TMAZ), EBSD analysis.

Экстремальные условия ротационной сварки трением характеризуются воздействием на материал больших деформаций, высоких температур и высоких скоростей деформации. Таким образом, микроструктура приконтактных зон сварных соединений является микроструктурой деформационного происхождения и представляет научный интерес.

Трубные заготовки $\varnothing 63,5 \times 4,5$ из сталей 32Г2 и 40ХН были подвергнуты ротационной сварке трением на сварочной машине Thompson-60 при следующих параметрах: частота вращения заготовок $n = 800$ об/мин, усилие разогрева $F_1 = 50$ кН; усилие проковки $F_2 = 70$ кН, величина осадки $l = 8$ мм. Протяженность ЗТМВ составила по 4,5 мм со стороны каждой стали. Микротвердость приконтактных областей повышена (500–550HV_{0,2} в стали 40ХН и 350–400HV_{0,2} в стали 32Г2) и образована структурами мартенсита с отдельными участками нижнего бейнита со стороны стали 40ХН и смеси мартенсита и бейнита со стороны стали 32Г2. Морфологические особенности образованных структур в различных участках ЗТМВ подробно рассмотрены в работе [1].

Приведены количественные данные о кристаллографической ориентации зеренной структуры, распределении зерен по размерам и распределении границ зерен по углу разориентировки в различных участках зоны термомеханического влияния сварных соединений, полученные с помощью EBSD анализа. Установлено, что границы зерен с высоким углом разориентировки (50° – 60°) преобладают во всех участках ЗТМВ в той или иной мере. Высокие температуры и скорости деформации, достигнутые в участках, прилегающих к линии контакта, приводят к особенно быстрому и интенсивному росту зерна по сравнению с другими зонами. Следует отметить, что крупные зерна не содержат развитой системы малоугловых границ. Исходя из этого, можно предположить, что при данных условиях сварки эволюция микроструктуры характеризовалась преобладанием процесса превращения малоугловых границ в большеугловые вследствие активной миграции границ и поглощения ими дислокаций. Помимо этого, в структуре обнаружился рекристаллизационные зародыши, имеющие размер до 1 мкм, в виде ожерелья вдоль деформированных границ крупных зерен.

Механические испытания сварного соединения на растяжение свидетельствуют, что прочностные и пластические свойства сварного соединения сопоставимы с уровнем механических свойств стали 32Г2.

Место разрушения фиксируется на расстоянии 9 мм от линии контакта, то есть по основному металлу стали 32Г2.

На основании проведенных исследований можно заключить, что в процессе ротационной сварки трением в приконтактных областях одновременно развиваются процессы фазовой перекристаллизации, динамической собирательной рекристаллизации, происходит формирование разнотермической структуры с аномальным ростом некоторых зерен. Дальнейшее охлаждение сварного соединения приводит к образованию закалочных структур мартенсита и бейнита в зонах, где температура разогрева превысила значения критических точек. Интегральная прочность сварного соединения не уступает материалу тела трубы.

Литература

1. Эволюция структуры и механизм образования сварных соединений среднеуглеродистых сталей при ротационной сварке трением / Е. Ю. Приймак [и др.] // ФММ. 2019. Т. 120, № 11. С. 1187–1192.